

## 特開平10-56064

(43) 公開日 平成10年(1998)2月24日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>  
H01L 21/768  
21/316  
21/3205

識別記号 庁内整理番号  
H01L 21/90  
21/316  
21/88

F I  
H01L 21/90  
21/316  
21/88

技術表示箇所  
P  
X  
K

審査請求 未請求 請求項の数1 O L (全18頁)

(21) 出願番号 特願平9-142120  
(22) 出願日 平成9年(1997)5月30日  
(31) 優先権主張番号 018737  
(32) 優先日 1996年5月31日  
(33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 590000879  
テキサス インスツルメンツ インコーポ  
レイテッド  
アメリカ合衆国テキサス州ダラス、ノース  
セントラルエクスプレスウェイ 135  
00  
(72) 発明者 メアリー エイチ. マースデン  
アメリカ合衆国テキサス州オースチン、ス  
ペイスウッド スプリングス ロード 4  
711, ナンバー 241  
(74) 代理人 弁理士 浅村 眩 (外3名)

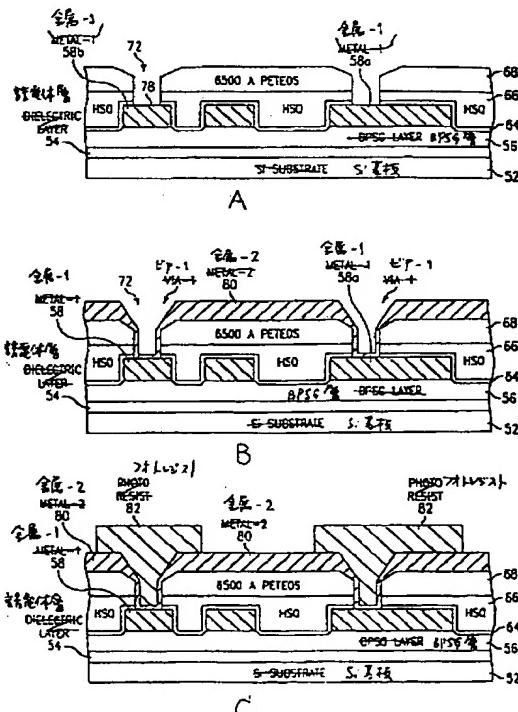
最終頁に続く

## (54) 【発明の名称】金属間絶縁層形成法

## (57) 【要約】

【課題】 サブミクロン寸法の表面形状を有する半導体デバイスの金属間誘電体平坦化工程におけるビアポイズニング現象を防止する。

【解決手段】 ビア72および相互接続58, 80等のサブミクロン寸法のギャップ用の金属間誘電体平坦化プロセスは、コンフォーマルなプラズマ促進テトラエチルオキシシラン(PETEOS)68および水素シリセスキオキサン(HSQ)66スピinnングラス(SOG)を用いる。金属堆積の前に、炉中でのベーキングを採用することによってビアポイズニングが防止される。本発明は、デジタル信号プロセッサ、メモリ、論理回路、特定用途向け集積回路の製造に関連するようなサブミクロンCMOSおよびBiCMOSプロセスおよび最低でも二重の金属層を採用したその他のプロセスで使用するのに特に適している。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ウエハ上の相互接続パターンを覆って、平坦な金属間誘電体層を形成する方法であって、基板を設けてその上に電気的相互接続パターンを有し、前記相互接続パターンを覆って第1の誘電体層を形成し、前記第1の誘電体層を覆って前記第1の誘電体層とは異なり、無機のシリコンを含む組成から、シリコンを含む第2の誘電体層を形成し、前記第2の誘電体層を覆って前記第2の誘電体層とは異なる第3の誘電体層を形成し、前記第1の誘電体層中に少なくとも1個のビアをエッチングし、前記ウエハを約350℃ないし400℃の間の温度に加熱し、前記第1の誘電体層を覆って前記少なくとも1個のビア中に金属を堆積すること、を備えた平坦な金属間誘電体層を形成する方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、サブミクロン寸法の開口部のための平坦な金属間誘電体層を形成するためのプロセスに関するものであって、更に詳細には、毒性の発生を抑制することを特徴とする、そのような開口部形成のためのプロセスに関する。

## 【0002】

【従来の技術】 半導体回路の形状が0.5ミクロン以下に縮小するにつれて、半導体中に相互接続パターン用のレベル間誘電体（ILD）膜に対する需要が急速に高まってきた。将来期待されるILD膜というのは、現在使用されているILD膜に要求されるものよりも、より大きなアスペクト比のギャップを充填し、より低い誘電率を提供することが求められよう。膜の誘電率を低くすることは、いずれも現在電気的な分離のために使用されている酸化物で処理された回路の動作速度を低下させる、レベル間容量およびレベル内容量の両方の低下につながることから好ましいことである。良く知られているように、この速度低下の効果は回路の複雑さが増すにつれていますますます厳しくなっている。

【0003】 更に、集積回路デバイスの回路がより複雑になり、より高密度になるにつれて、金属層の数もまた増大するはずである。金属層数のこの増大に伴って、各々の引き続く層の表面平坦性は、下層の金属ストライプや支持層の輪郭に追随する付随した層間膜のために非平坦度を増してゆくことになる。各々の引き続く層に従って、表面輪郭の不規則性に寄与する金属層の数はより増大していく。従って、2層あるいはそれ以上のレベルが存在すれば、厳しい非平坦表面トポロジーの問題が生ずる可能性があり、金属のステップカバレッジおよびマイクロリソグラフィー描画プロセスの欠陥の結果として、

厳しい信頼性の問題に直面するかもしれない。

## 【0004】

【発明の解決しようとする課題】 微細化した多重レベル相互接続回路用として、スピンドルガラス（SOG）法によって堆積した無機および有機の両層が広く用いられるようになってきた。堆積した誘電体層は、表面を更に平坦化するエッチバックプロセスに曝されるのが普通であった。しかし、層をエッチバックにするこの工程は、各層の堆積プロセスに1つの工程を追加することになり、そのため、コストも上がり、製品の歩留まりを低下させる可能性もある。無機のSOGは加熱することによって平坦化が可能であり、上述のエッチバック工程を回避できるものの、ILD平坦化の目的と妥協を図るべきプロセス指向の別の問題が発生する。例えば、ILD層を、ビア形成に付随して使用されるフォトレジスト除去に関してO<sub>2</sub>プラズマに曝さると、関連する金属層に対して有害なH<sub>2</sub>Oが層中に吸収される可能性がある。

【0005】 更に、有機SOGをビアの中で露出させると、SOGはアウトガスしてきた湿気やその他の物質を含んでおり、それらが、ビア中へ導電性金属をスパッタした時にビア中に生ずる高抵抗の原因となる。この問題は”ビアポイズニング（via poisoning）”として知られており、多重レベルの金属相互接続を備えた集積回路のギャップ充填および平坦化のためにメチルシロキサンをベースとするスピンドルガラスを使用する場合に発生する。そのような有機SOGがビア側壁で露出されたビア中へ気相堆積法（CVD）で堆積されるタンゲステン堆積物の品質は厳しく抑制され、不完全に充填されたビア、高抵抗ビア、あるいは他の金属ラインとの間で短絡回路を形成するようなビア上部からの金属成長（ヒロック）をしばしばもたらす。有機SOGの有機部分がタンゲステンソース材料と何らかの逆方向の反応を起こすものと考えられている。絶縁性の半導体層間膜を堆積させる場合に出会うこれ以外の障害についての議論は、ここに参考のために引用する1995年5月6日付けの米国特許第5,413,963号の明細書の中に見い出すことができよう。

【0006】 ビアポイズニングの問題に対する1つの普通の解決法は、SOGに対して部分的プラズマエッチバックを行って、金属リード間および側辺に沿ってのみSOGを残すようにすることである。この解決法では、半有機性のガラスをウエハ全面を覆って堆積させ、プラズマエッチャーワークの中でエッチバックすることが必要になる。この手順は非常にゆっくりしたもので、非常に”汚く”、それ以降のウエハ処理工程の障害となる可能性のある多くの粒子をウエハ上に残すものであり、また均一でもない。その他の方法には、より薄いSOG被覆を使用するものがあり、それは例えばSOG層がより薄い場所へビアを移動させたり、あるいは注意深いキュア、エッチ、ビアベーキング、および金属堆積工程を併用した

りする方法であるが、成功の程度は確かなものではない。

【0007】ILD構造の判断基準は一般に、欠陥レベル、プロセスの複雑さ、電気的な特性、および平坦化能力である。以上のカテゴリーはすべて流動的酸化物が有望であると見込まれる分野である。流動性酸化物材料の流動的な性質は、それがILDプロセスを簡略化することができ、また例外のないギャップ充填および平坦化性能を発揮できる点で魅力的である。0.7ミクロン技術と組み合わされた流動的酸化物をベースとするILDプロセスは、少なくともプラズマ促進テトラエチルオキシシラン(PETEOS)酸化物堆積およびエッチングプロセスのいずれかと比較して優れた平坦化を実証した。しかし、HSQの湿式エッチ速度が大きいことはビアエッチングを複雑なものとし、また湿式エッチングプロセスのみでは好ましい”シャンペングラス”形のビア側壁勾配は形成できない。その代わりに他のプロセス工程が必要になり、デバイス製造に付随する出費、複雑度、および時間の増大につながる。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】スパッタ金属の相互接続を有するビアおよび相互接続のような、サブミクロン寸法のギャップに対して、水素シルセスキオキサン(HSQ)スピノングラス(SOG)およびコンフォーマルなプラズマ促進テトラエチルオキシシラン(PETEOS)を用いて金属間誘電体(ILD)平坦化を実行するためのプロセスが提供される。本発明は、特定用途向け集積回路はもちろん、デジタル信号プロセッサー、メモリデバイス、論理回路の製造に関するプロセスや、その他最低でも二重の金属層を使用するサブミクロンCMOSおよびBiCMOSプロセスに採用するのに特に適している。これまでビアあるいは同等構造等のレベル間接続を形成する場合に発生していたビアポイズニング現象は、レベル間接続後のプロセスあるいはビアエッチクリーニングプロセスを修正して、水分子、イソプロピルアルコールのような有機クリーニング溶剤、およびレベル間接続チャンネル中のHSQ残留物間に形成される複合物を完全に除去することで減らすことができた。

#### 【0009】

【発明の実施の形態】以下に述べるプロセス工程および構造が集積回路を製造するための完全なプロセスフローを構成するものではないことを理解されたい。本発明は、従来技術で現在用いられている集積回路製造技術と一緒に実行されることができ、一般に実行されているプロセス工程のうちで本発明を理解するために必要なものだけをここに含めてある。本明細書に含まれ、製造工程中の集積回路の断面を示す図面は正しいスケールで描かれておらず、本発明の関連特徴を例示するように描かれている。

#### 【0010】

イナミックランダムアクセスメモリ”DRAM”デバイスのような集積回路デバイスのための相互接続パターンを覆って、平坦化された誘電体層を提供するための従来技術の手順のプロセスフロー図が示されている。最初に、タンゲステンのような相互接続金属の堆積によって基板1の上に相互接続パターン3が形成され、それに続いて図1Aに示されたようにバーニングとエッチングが行われる。次に7,000ÅのTEOS酸化物の層5が露出表面を覆って堆積され、図1Bに示されたよう

に、相互接続パターンの部分間の領域にある窪みあるいは谷7が残される。次に、6,200Åないし6,400Åの有機SOG層8が図1Bの構造を覆って堆積され、図1Cに示されたようにキュアされるか、あるいはエッチバックの後にキュアされる。図1Cの構造は次に、もしまだエッチバックされていなければ図1Dに示されたようにTEOS酸化物5が露出するまでエッチバックされて、更にその後、この構造の上に集められたすべてのポリマー9が図1Eに示されたように酸素プラズマ処理によって除去される。すべての残存ポリマーおよび汚れが次に、図1Fに示されたように水洗によって表面から除去される。この構造は次に、410°Cの温度で約2分半ベーキングされ、次に図1Gに示されたように、5,000ÅのTEOS酸化物層11がその表面を覆って堆積され、平坦化された表面が提供される。

【0011】次に図2Aないし図2Iを参照すると、論理回路のための相互接続パターンを覆って、平坦化された誘電体層を提供するための従来技術のための手順のプロセスフロー図が示されている。最初に、アルミニウムのような相互接続金属の堆積によって基板21上に相互接続パターン23が形成され、その後、図2Aに示されたようにバーニングおよびエッチングが行われる。アルミニウムは被覆相互接続層と短絡回路を生ずる可能性のあるヒロック(hilllock)を形成し得るので、DRAMの例よりも厚い誘電体層を設ける必要がある。従って、この露出表面を覆って3,000ÅのプラズマTEOS酸化物層25が堆積され、図2Bに示されたように、相互接続パターンの部分間の領域にある窪みあるいは谷27が残される。これに続いて、窒素プラズマ処理が施され、その後、図2Cに示されたように、

3,000ÅのオゾンTEOS酸化物層29、そして図2Dに示されたように、4,000ÅのプラズマTEOS酸化物層31が形成される。この後の手順は、図1Cないし図1Gに関してDRAMについて上で説明したのと同じであり、それらはそれぞれ図2Eないし図2Iに対応している。

【0012】三重層の金属プロセスに関する本発明の詳細が図3Aないし図7Cに示されている。特に図3Aを参照すると、構築中の半導体デバイスの部分50が図示されている。構築のこの段階において、部分50はシリコン基板52を含み、それは誘電体層54の下側にな

っている。誘電体層54は、～7, 500Åのプラズマ促進テトラエチルオキシシラン(PETEOS)の下層にある～6, 200Åの下層熱酸化物の3層サンドイッチ構造を含むことができる。熱酸化物とPETEOSとの間に挟まれて～300Åのシラン酸化物層が設けられて、打ち込みのチャンネリング効果を減らようになっており、この結果、合計の誘電体層厚は約14, 100Åとなっている。別の、ホウ素リンシリケートガラス(BPSG)層56の形の誘電体層が堆積され、従来のように、ワトキンス・ジョンソン(Watkins-Johnson)反応炉の中でN<sub>2</sub>で処理されて緻密化される。BPSGの組成は次のようなものでよい、例えば、ホウ素が2.4-3.2重量%、リンが5.9-6.25重量%、そして残りがシリコンである。その他のBPSG組成を本発明で使用することもできる。HSQ層66は、好ましくはシリコンウエハが約500RPMの速度で回転している最中に、約5, 700Åの厚さにまで取り付けられる。この層66は、より高速、例えば2, 500RPMで回転させることによってずっと薄くすることもできる。

【0013】”金属-1”と名付けた金属スタック58がBPSG層を覆ってその場に堆積される。本発明の好適な態様においては、金属-1スタックは3層のスペッタ金属の垂直アレイ、例えば、下層はBPSG層56に隣接して堆積された500Åのチタン層、それを覆って3, 000ÅのTi(10%) - Wの厚い層、そして最上層には～4, 600ÅのAl-Si(1%) - Cu(0.5%)の層を含む。このように、金属-1スタックの合計の厚さは約8, 100Åとなる。スタック堆積に続いて、それは従来のフォトリソグラフィ技術によってパターニングされ、そしてエッチされる。エッチングによって、図面には凹み60として示されたように、金属の”オーバーエッチ”に付随して約2, 000ÅのBPSG層56が除去される。このオーバーエッチは～10, 000Åを越える等価的金属スタック高さを生み出し、これを以下で詳細に説明するように、後続のプロセス工程において誘電体と一緒に平坦化される。複数の金属スタックのうちの、58aと名付けられた1つを貫通し、BPSG56および誘電体層54を貫通してコンタクト62が延びている。コンタクト62の内面64は、図面に示されたように、3層金属スタック58からの金属によってライニングされている。コンタクトの上面66は末広がりの平面と一緒に構築され、以下で述べるようにコンタクト充填を容易にするために好ましい”シャンペングラス”あるいは”マティーニグラス”的輪郭を構成する。コンタクト62は適した多様なプロセスのうちの任意のものによって形成でき、それらのうちには、最初、湿式エッチを施し、続いてドライエッチを施し、そして最後に電力を抑えたソフトなエッチを施すものが含まれる。

【0014】図3Bに示されたように、この構造50を覆って1, 000Åのコンフォーマルなプラズマ促進TEOS酸化物層64が堆積される。その後、約5, 700Åの水素シルセスキオキサン(HSQ)層66がスピノンオンされ、ベークされる。HSQの厚さとしては、標準的な処理条件のもとで裸のシリコンウエハの上へ材料がスピノンオンされた時に得られるHSQの厚さを指定することを理解されたい。パターン化されたウエハ上のHSQの厚さは局部的なウエハトポグラフィの関数であることを理解されたい。例えば、この厚さは間隔が接近した金属ライン間では上述の基準となる5, 700Åよりも厚くなるし、また開けた領域ではそれに応じて薄くなる。全体的な効果は、高度なトポグラフィ平滑化と短距離の平坦化であり、狭い孤立したリード上には非常に少ないHSQが残され、一方、幅広いリード上あるいは近接した間隔の狭いリード上の厚さは上述の基準となる厚さのかなり大きな割合になることが期待できる。

【0015】このHSQ膜66は大気圧炉中で、窒素雰囲気で約400°Cでキュアされる。熱処理に続いて、デバイス50を搭載するウエハは、PETEOS CVD チェンバー(図示されていない)中へ挿入され、後続の層堆積の前にこのウエハは窒素雰囲気中で約380°C、約8 Torrで、約60秒間ベークされる。窒素による熱処理の後、～6, 500ÅのPETEOS層68が堆積される。PETEOS堆積が有利なのは、それがコンフォーマルであり、比較的低温(<400°C)で堆積できるので、関連する金属スタック中の細粒の形成が最小化されるという点である。

【0016】図4Aおよび図4Bを参照すると、ウエハ50は従来のフォトリソグラフィ技術を用いてパターニングされ、少なくともビアの場所および、金属-1スタック58と後で設けられる金属-2スタックとの間でオーミックなコンタクトを形成すべき場所のいずれかが定義される。このパターニングは図4Aにシャドーボックス70で示されている。図3Aおよび図3Bに現れるコンタクト62は図4Aおよび以降の図面では簡略化と分かりやすさの目的で省略した。

【0017】フォトレジストのパターニングに続いて、ウエハ50はベークされ、フォトレジストが硬化される。その後、フォトレジスト70は、6.5%のHFと35%のNH<sub>4</sub>Fをオリンハント(Olin Hunt)表面活性剤およびCOEをDHSとともに含む、酸化物エッチ用の緩衝水溶液中でエッチされる。このエッチングの結果、上側のPETEOS層68の約3, 000ないし5, 000Åが除去される等方的なエッチ分布が得られる。HSQはHF水溶液中でウエハから急激に除去されるので、すべてのPETEOS層68がエッチングによって消失してしまって下層のHSQ層66を浸食することができないように、処理条件が制御される。PETEOS68を貫通し、HSQ層66中へエッチングが

進行することは、後続の金属スパッタリングの間にビアの適正な金属カバレッジを阻害することを理解されよう。ここで述べたようにPETEOS層68をエッチングすることによって、パターン化されたフォトレジスト70の下側にまで部分的に拡がる井戸72が形成される。

【0018】井戸72の形成に統いて、ウエハ50は次にプラズマ反応炉中でCF<sub>4</sub>／CHF<sub>3</sub>化学反応を利用してエッチされ、ビア72中に残っていた酸化物が除去される。プラズマ反応炉でのエッチングの結果、本質的にまっすぐな側壁74と、開口端に好ましい”マティーニ”あるいは”シャンパン”グラスの形状を有するビアが形成される。ビアエッチの後のビア底部の開口部は約1.1μmである。上述のプラズマ反応炉でのエッチはまた、図4Cにリード58bとして示したような関連する金属リードの上面78を覆う誘電体層(PETEOS68およびHSQ66)の約0.85μm(8,500Å)をもエッチする。上述のようなビアエッチングによって、約0.77のアスペクト比を有するビアが得られる。

【0019】上述のようにしてビア72を形成した後、従来のやり方、例えば溶媒クリーン／リンス、プラズマアッシング、溶媒／クリーンリンスおよびプラズマアッシングによってフォトレジスト70が除去され、図5Aに示されたような構造が得られる。これは本質的にフォトレジストを含んでいない。最後のアッシング工程は、ビア側壁中にHSQによって吸着されたすべての溶媒を除去するのに部分的に有効であることが見い出された。各溶媒工程は、アシュランド(Ashland)ACT-CMI DMAcクリーン中のクレンジングと、それに続くIPAリンス／蒸気乾燥を提供する。各アッシングはバレル形のアッシャー中で酸素プラズマ雰囲気で行われる。

【0020】図5Bを参照すると、”金属-2”と名付けられた第2の金属スタック80の取り付けが示されている。金属-2スタック80の取り付けに先だって、ウエハは、ビア72の下面からすべての残留物およびアルミニウムを除去するためにアルゴンのスパッタを施される。このアルゴンスパッタエッチは～180Å±20Åのシラン(SiH<sub>4</sub>)酸化物を除去するためのものである。更に、ウエハは低圧のベーキングを施される。金属-2層80はウエハ上へスパッタされた～2,000ÅのTi(10重量%)-Wと～4,600ÅのAl-Si(1重量%)-Cu(0.5重量%)との組み合わせを含む。図面に示されたように、このスパッタプロセスは金属で以てビア72を部分的に充填し、金属-1層58から金属-2層80への導電性経路を生成する。しかし、ビア72中にボイドやキャビティが残存し、それが後述のように酸化物によって充填される。金属-2層80の全体としての金属スタックの高さは、その最も高い

地点で約6,600Åである。

【0021】一旦、金属-2スタック80が取り付けられれば、ウエハはフォトリソグラフィを通して処理され(図5C)、金属-2スタック80のためのパターンが定義される。このパターンングは図5Cにシャドーボックスで示されている。図6Aに示されたように、金属-2スタック80のエッチングはPETEOS酸化物の約2,000Åを除去してしまうことができるが、他方、それによって平坦化を必要とする等価的なステップ高さを約8,000Åとする。次に、従来のやり方でフォトレジスト82が除去され、金属-2スタック80を覆って、またPETEOS誘電体層68の露出部分を覆つて、1,000ÅのPETEOS層84が取り付けられる。約5,700ÅのHSQ層86がこの1,000Åの誘電体層84を覆つて取り付けられる。更に、別の、約6,500ÅのPETEOS層88が図3Bに関して既に説明したようなやり方でHSQ層86を覆つて堆積される。この1,000ÅのPETEOS層84はビア72中に堆積し、HSQ86と一緒にボイドの残りを充填する。

【0022】誘電体層84-88の取り付けに統いて、回路50は以下に説明するように第2のビア層の形成に付随してフォトレジストで以てパターンングされる。図6Cを参照すると、パターン化されたフォトレジスト90はペークされ、次に図4Bに関して既に説明したようなやり方でエッチされる。このようなやり方でエッチすることによって、参照符号94で示したように、好ましい”マティーニ”あるいは”シャンパン”グラスを開口端に有する第2のビア92が形成される。次に、ウエハはプラズマ反応炉中でエッチされ、ビアエッチプロセスが完了する(図7A)。これにより、ビア92はPETEOS層88、HSQ層86、および下層のPETEOS層84を完全に通り抜けて延び、金属-2スタック80の上面96にまで達する。

【0023】図7Bを参照すると、金属-3スタック100の構築が図示されている。金属-3スタック100は、以前に金属-2スタック80に関して説明したのと同じようにして堆積される。金属-3スタック100は、～2,000ÅのTi(10重量%)-Wおよび～6,000ÅのAl-Si(1重量%)-Cu(0.5重量%)を含んでおり、シャドーボックス102で示されたようにフォトレジストで以てパターンングされる。金属-3スタック100のパターンングおよびエッチングに統いて、フォトレジスト102が除去され、パッショベーション層が堆積され、パターンングされ、そしてエッチされて、図7Cに示された構造が得られる。

【0024】二重あるいは2層の金属プロセスの詳細が図8A-図8Cに示されている。図8Aを参照すると、図3A-図5Aに関して既述した3層処理の段階と同じような、二重あるいは2層金属処理の段階にある構築中

デバイスが図示されている。第2の金属スタック 80' のスパッタリングの前に、ウエハはアルゴンスパッタエッチに曝され、また低圧でのベーキングを施されてビア 72 の底部からアルミニウムおよび残留物が除去される。金属-2スタック 80' は、~2,000 Å の Ti (10重量%) - W と ~6,000 Å の Al-Si (1重量%) - Cu (0.5重量%) を含む。図面に示されたように、金属-2スタック 80' のためのスパッタプロセスは、ビア 72 を金属で以て部分的に充填し、金属-1スタック 58 と金属-2スタック 80' との間の導電性経路を生成する。金属-2層 80' はフォトレジスト 82 によってパターニングされ、既に述べたようにエッチされ、金属のオーバーエッチと一緒に約 2,000 Å の PETEOS が除去される(図 8B)。フォトレジスト 82 の除去に続いて、パッシバーション用の酸化物 104 が堆積され、パターン化され、エッチされて、図 8C に示されたように金属-2スタックレベルにおいて平坦化された表面が得られる。

【0025】 上述の平坦化プロセスの特長には優れたギャップ充填特性と局部的な平坦化が含まれる。更に、各種のプロセスを通して HSQ を使用することは、HSQ が優れて低い誘電率 (<3.0) を有することから有利である。上述のプロセスから得られるこの進歩した平坦化によって、金属異物 (stringer) によって引き起こされる欠陥が減り、その結果、現在工業界で使用されている従来のレジストエッチバック (REB) プロセスと比較して歩留まりが向上する。HSQ は非炭素ベースの SOG 化合物であるので、エッチバックを必要としない。従って、HSQ 中にエッチされるビアは、従来の ILD プロセスで経験される炭素のアウトガスから発

30

生する”ビアボイズニング”に汚染されることがない。

【0026】 HSQ 处理されたウエハの電気的な評価によれば、HSQ-SOG 層間誘電体プロセスはビアボイズニングの例を示すことがある。この電気的な異常は、ビアチェーンが最初に低電圧で測定された時に現れることが判明した。このことはビアが”開いている”か、あるいは極端に大きな抵抗を示すかのいずれかであることを示す。中程度の電圧でビアチェーンにストレスを与えることによって、そのような構造の正常値であるビア抵抗レベルをもたらすことができる。ビア抵抗レベルのこの変化は、ビア中に有機性の障壁が形成されて、それが多分、ビアの、そして回路の特性を劣化させることを示している。ビアエッチ後のクレンジングプロセスで、ビア中で HSQ と接触する有機溶媒を使用しているので、全体的なクレンジングプロセスでのこの点に関する有機汚染源とその性質の両方を評価することに努力が向けられた。これらの調査によって、イソプロピルアルコール (IPA) が構造の表面との間で複合物を形成している、あるいはボンディングを形成していることが示された。IPA はその絶縁性のために電気的故障の原因となるので、ビアライナーをスパッタする前に IPA を除去することが有利である。以下の議論は、結合した IPA をビア側壁から除去することができ、回路の信頼性を高めるための各種の方法に言及している。

【0027】 24 枚のウエハのロットを 5 つの別々のグループに分けて、以下の表 1 に示された特定のプロセス管理のもとで処理した。

#### 【0028】

#### 【表 1】

ロット1 ウエハ1-5	ロット2 ウエハ6-10	ロット3 ウエハ11-15	ロット4 ウエハ16-20	ロット5 ウエハ21-24
ビアエッチ	ビアエッチ	ビアエッチ	ビアエッチ	ビアエッチ
溶媒	溶媒	溶媒	溶媒	溶媒
IPAリソス	IPAリソス	IPAリソス	IPAリソス	IPAリソス
IPA乾燥	IPA乾燥	IPA乾燥	IPA乾燥	IPA乾燥
バレル形アッシャー	バレル形アッシャー	バレル形アッシャー	バレル形アッシャー	バレル形アッシャー
溶媒	溶媒	溶媒	溶媒	溶媒
IPAリソス	IPAリソス	IPAリソス	IPAリソス	IPAリソス
IPA乾燥	IPA乾燥	IPA乾燥	IPA乾燥	IPA乾燥
バレル形アッシャー	--	--	--	--
--	--	350°C	400°C	--
225°Cガス出し; *RGAデータ	225°Cガス出し; *RGAデータ	225°Cガス出し; *RGAデータ	225°Cガス出し; *RGAデータ	70秒,300°C ガス出し;
金属-2堆積	金属-2堆積	金属-2堆積	金属-2堆積	金属-2堆積

\*RGAは残留ガス分析計のデータを表す。質量対電荷比および電界を用いて分離を行う。

上記のウエハはそれぞれ 94 カ所のテストサイトを有し、各サイトにはサイト当たり 500,000 個のビアを含むビアチェーンが設けられ、合計でウエハ当たり 47,000,000 個のビアのテストが行われた。

【0029】 ウエハのクリーニングおよび炉処理に続いて、そして金属堆積の前に、ロット 1-4 のうちの 1 つのウエハについて質量分析データが集計された。データ

はアプライド・マテリアルズ (Applied Materials) のエンデュラ (Endura) モデル 5500 (MT109) のチャンバー (chamber) につながれた RGA (残留ガス分析計) ヘッドで集められ、その間ウエハは 400°C で 5 分間加熱処理された。

ロット 1 と 2 のウエハからはイソプロピルアルコール (IPA-質量 45) が検出されたが、ロット 3 と 4 か

らは I P A は検出されなかった。ロット 5 からは、金属堆積前のスプリット 2 の同一処理のために R G A データは収集されなかった。ロット 1 - 4 からはウエハ上の水(質量 1.8)も検出された。この点に関しては、この水はウエハのクリーニングおよび炉処理の後、R G A データの収集までの待機期間中に雰囲気中の湿気から吸着されたものであろうと推定された。

【0030】ロット 1 および 2 のウエハと比べて、追加の熱処理を施されたロット 3 - 5 のウエハから収集された電気的データは、上で言及した電圧ストレスに続くビアチーン抵抗のシフトは見られなかった。ロット 1 および 2 は両方とも、電圧ストレスに続く抵抗シフトというビアポイズニングのサインを示した。ロット 1 のウエハ(図 9)はより大きいストレスを受けている。ビアポイズニングのサインを図 9 中に、"A" (~3, 060 cm<sup>-1</sup>) および "B" (~3, 400 cm<sup>-1</sup>) と記したピークとして示してある。"A" と示したサインは I P A が H S Q と結合していることを示しており、また "B" と示したサインは I P A が H<sub>2</sub>O と結合し、その H<sub>2</sub>O が更に H S Q と結合していることを示している。

【0031】上記のポイズニングのサインは 5 つのロットの 24 枚のウエハの各々から収集されたテストデータで実証されている。図 10 を参照すると、各ウエハから 90 個のサイトテストに関して収集されたデータが、各ウエハ毎に、"個数"あるいは"不良テストサイト"の形で図示されている。このグラフに表されているように、ロット 3 - 5 を含むウエハは不良個数が大幅に減少しており、本発明の教えるところに従ったウエハ処理のメリットを実証している。R G A 評価を行い、M T 1 1 7 中での上述の 225°C でのガス出しおよび金属堆積の前に、M T 1 0 9 中で ~400°C で 5 分間処理された 4 枚のウエハ(第 11, 16, 21, および 24 番)は大幅に低減化された抵抗シフトを示しており、従って不良テストサイトの数も大幅に減少している。

【0032】上記のデータは、金属堆積時に I P A 吸着から生ずるビアポイズニングの発生が、金属堆積前に熱処理管理を導入することにより大幅に減らすことができる事を示唆しており、例えば、熱処理によってビア側壁へ H S Q によって吸着される I P A (H<sub>2</sub>O とともに) のすべてではなくともほとんどが消失する。熱処理は少なくとも約 250°C よりも高い温度で行うことが好ましく、好適な炉温度の範囲は約 300°C ないし 400°C である。そのような炉処理は、大気圧 (~760 Torr) で N<sub>2</sub> 雰囲気中で約 4.5 分間動作する水平炉中で実行することができる。更に、金属-2 および金属-3 の堆積の前に、上述の A M T エンデュラ 5500 のようなガス出しチャンバーやその他の適当なガス出し装置中で、環境雰囲気のない減圧下 (10<sup>-6</sup> - 10<sup>-8</sup> Torr) でウエハを処理することが好ましい。このように企図したガス出し工程において、ウエハは、熱(典型的に

はハロゲンランプからの熱) に曝され、ウエハ温度を測るために熱電対あるいは同様な温度測定装置を用いて、ウエハ温度が約 250°C あるいはそれ以上まで約 80 秒間かけてランプ状に上昇させられる。ランプ状の温度上昇の間の電力は例えば 5.2% といった中程度の電力である。実際のウエハ温度およびランプ状に変化させている間の温度は、就中、熱処理中のウエハ上に存在する回路部品の温度安定性を考慮しながら、個々のウエハ処理応用に対してカスタム化することができる。例えば、或る低誘電率の誘電体は約 400°C よりもずっと高い温度において構造的に不安定である。従って、そのような材料を使用する時は、金属堆積の前にビアから少なくとも I P A および H<sub>2</sub>O のいずれかの除去を容易にするためには、より低い温度で処理時間を長く取るのが賢明である。

【0033】本発明はその特定の好適実施例に関して説明してきたが、数多くの変形や修正が当業者には直ちに明らかになろう。例えば、本明細書では一貫して"ビア"という用語を用いてきたが、本発明の処理管理においては、ビア以外のチャンネルや通路といった表現を使用しても構わないことを理解されたい。従って、特許請求の範囲が定義する本発明は、従来技術に照らしてそのような変形や修正をすべて包含するように可能な限り幅広く解釈されるべきである。

【0034】以上の説明に関して更に以下の項を開示する。

(1) ウエハ上の相互接続パターンを覆って、平坦な金属間誘電体層を形成する方法であって、次の工程：その上に電気的相互接続パターンを有する基板を提供すること、前記相互接続パターンを覆って第 1 の誘電体層を形成すること、前記第 1 の誘電体層を覆って、前記第 1 の層とは異なる、シリコンを含む第 2 の誘電体層を無機のシリコンを含む組成から形成すること、前記第 2 の誘電体層を覆って、前記第 2 の層とは異なる第 3 の誘電体層を形成すること、前記第 1 の誘電体層中に少なくとも 1 個のビアをエッチすること、前記ウエハを約 350°C ないし 400°C の間の温度に加熱すること、および前記第 1 の誘電体層を覆って、そして前記少なくとも 1 個のビア中へ金属を堆積すること、を含む方法。

【0035】(2) 第 1 項記載の方法であって、前記第 1 の層がプラズマで発生させた T E O S 酸化物である方法。

【0036】(3) 第 1 項記載の方法であって、前記シリコンを含む組成が H S Q である方法。

【0037】(4) 第 2 項記載の方法であって、前記シリコンを含む組成が H S Q である方法。

【0038】(5) 第 1 項記載の方法であって、前記第 3 の層がプラズマで発生させた T E O S 酸化物である方法。

【0039】(6) 第 2 項記載の方法であって、前記第

3の層がプラズマで発生させたTEOS酸化物である方法。

【0040】(7) 第3項記載の方法であって、前記第3の層がプラズマで発生させたTEOS酸化物である方法。

【0041】(8) 第4項記載の方法であって、前記第3の層がプラズマで発生させたTEOS酸化物である方法。

【0042】(9) 第1項記載の方法であって、前記第2の層を形成する工程が、二酸化シリコンへ熱分解可能な無機のシリコンを含む組成を、工程(b)で得られた構造を覆って堆積させる工程、その結果の構造を本質的に純粋な窒素で本質的に湿気を含まない雰囲気へ大気圧かそれ以下の圧力において設置する工程、そして前記シリコンを含む組成を約375°Cないし約425°Cの温度に約30分ないし約90分間加熱して前記シリコンを含む組成を二酸化シリコンへ変換する工程を含んでいる方法。

【0043】(10) 第9項記載の方法であって、前記シリコンを含む組成がHSQである方法。

【0044】(11) 第9項記載の方法であって、前記温度が約400°Cで約45分間である方法。

【0045】(12) 第10項記載の方法であって、前記温度が約400°Cで約45分間である方法。

【0046】(13) 第1項記載の方法であって、前記第3の層を形成する工程が、工程(c)で得られた構造を真空チャンバー中に設置して約3Torrないし約15Torrの圧力において約350°Cないし約430°Cの温度で約30秒ないし約90秒間加熱する工程、および前記構造を覆って、約2000Åないし約4000Åの厚さにプラズマによって生成したTEOS酸化物の層を堆積させる工程を含んでいる方法。

【0047】(14) 第13項記載の方法であって、前記温度が約390°Cで約60秒間である方法。

【0048】(15) 第13項記載の方法であって、前記圧力が約9Torrである方法。

【0049】(16) 第13項記載の方法であって、前記厚さが約3000Åである方法。

【0050】(17) スパッタされた金属相互接続を有する、ピア72および相互接続58、80等のサブミクロン寸法のギャップ用の、コンフォーマルなプラズマ促進テトラエチルオキシシラン(PETEOS)68および水素シルセスキオキサン(HSQ)66スピノングラス(SOG)を用いて金属間誘電体平坦化を実現するためのプロセスが提供される。金属堆積の前に、炉中のベーキングを採用することによってピアポイズニングが防止される。本発明は、デジタル信号プロセッサ、メモリ、論理回路、特定用途向け集積回路の製造に関連するようなサブミクロンCMOSおよびBiCMOSプロセスおよび最低でも二重の金属層を採用したその他のプロセスで使用するのに特に適している。

【図面の簡単な説明】

【図1】AないしGは、DRAM用の相互接続パターンを覆って、平坦化された誘電体層を提供するための従来技術の手順を示すプロセスフロー図。

【図2】AないしIは、論理回路用の相互接続パターンを覆って、平坦化された誘電体層を提供するための従来技術の手順を示すプロセスフロー図。

【図3】AおよびBは、DRAMおよび論理回路の両方の製造に使用することができる、本発明に従う3層金属プロセスのフロー図。

【図4】AないしCは、DRAMおよび論理回路の両方の製造に使用することができる、本発明に従う3層金属プロセスの図3に続く工程のフロー図。

【図5】AないしCは、DRAMおよび論理回路の両方の製造に使用することができる、本発明に従う3層金属プロセスの図4に続く工程のフロー図。

【図6】AないしCは、DRAMおよび論理回路の両方の製造に使用することができる、本発明に従う3層金属プロセスの図5に続く工程のフロー図。

【図7】AないしCは、DRAMおよび論理回路の両方の製造に使用することができる、本発明に従う3層金属プロセスの図6に続く工程のフロー図。

【図8】AないしCは、DRAMおよび論理回路の両方の製造に使用することができる、本発明に従う2層金属プロセスのフロー図。

【図9】ピアポイズニングのスペクトル。

【図10】従来のやり方で処理されたウエハロットを、本発明の教えるところに従って処理されたロットと比較した、不良テストサイトを示すチャート。

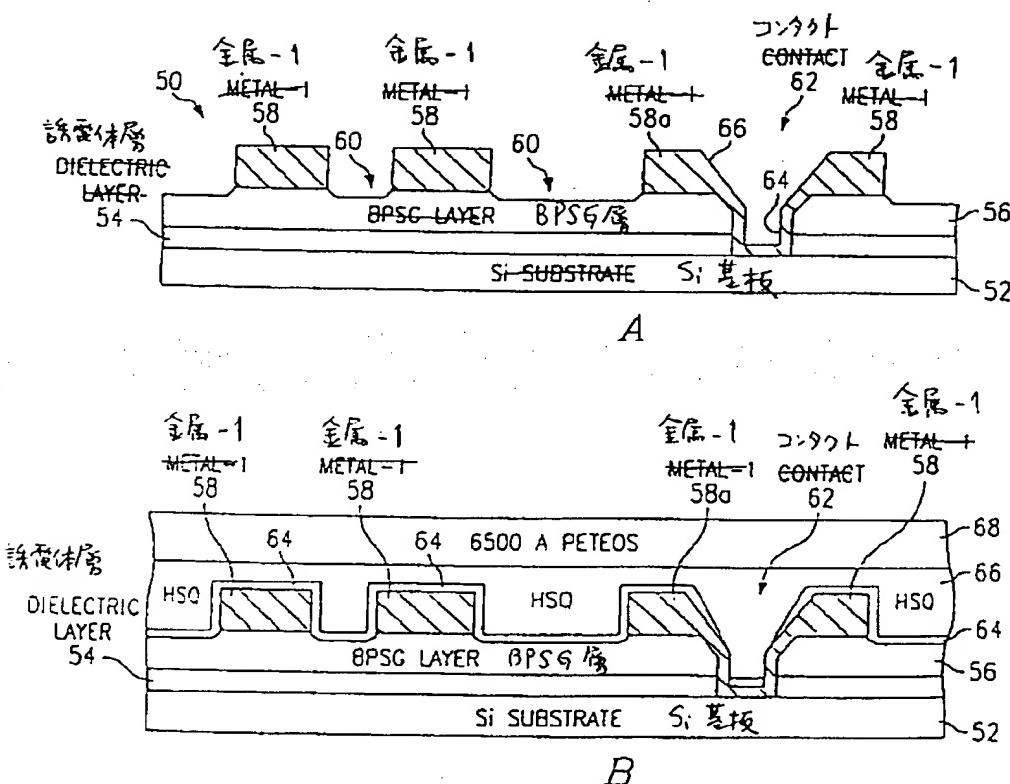
#### 【符号の説明】

- 1 基板
- 3 相互接続パターン
- 5 TEOS酸化物
- 7 谷
- 8 有機SOG
- 9 ポリマー
- 11 TEOS酸化物
- 21 基板
- 23 相互接続パターン
- 25 TEOS酸化物
- 27 谷
- 29 TEOS酸化物
- 31 TEOS酸化物
- 50 基板の一部
- 52 シリコン基板
- 54 誘電体層
- 56 BPSG層
- 58 金属-1スタック
- 60 四み

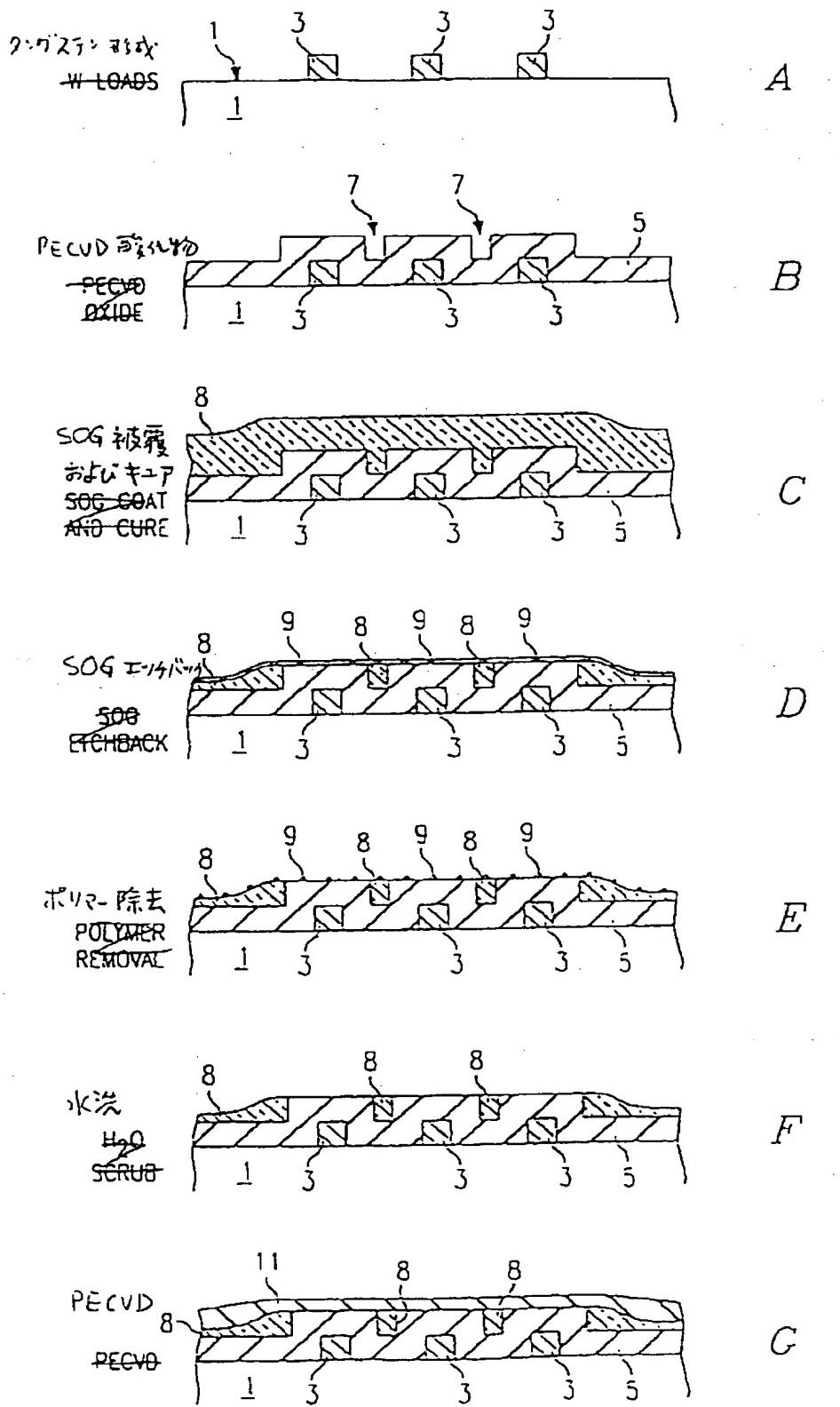
62 コンタクト  
 64 内面  
 66 上面  
 66 HSQ層  
 68 PETEOS層  
 70 フォトレジスト  
 72 ピア  
 74 側壁  
 78 上面  
 80, 80' 金属-2スタック  
 82 フォトレジスト

84 PETEOS層  
 86 HSQ層  
 88 PETEOS層  
 90 フォトレジスト  
 92 ピア  
 94 端部  
 96 上面  
 100 金属-3スタック  
 102 フォトレジスト  
 104 パッシバーション酸化物層

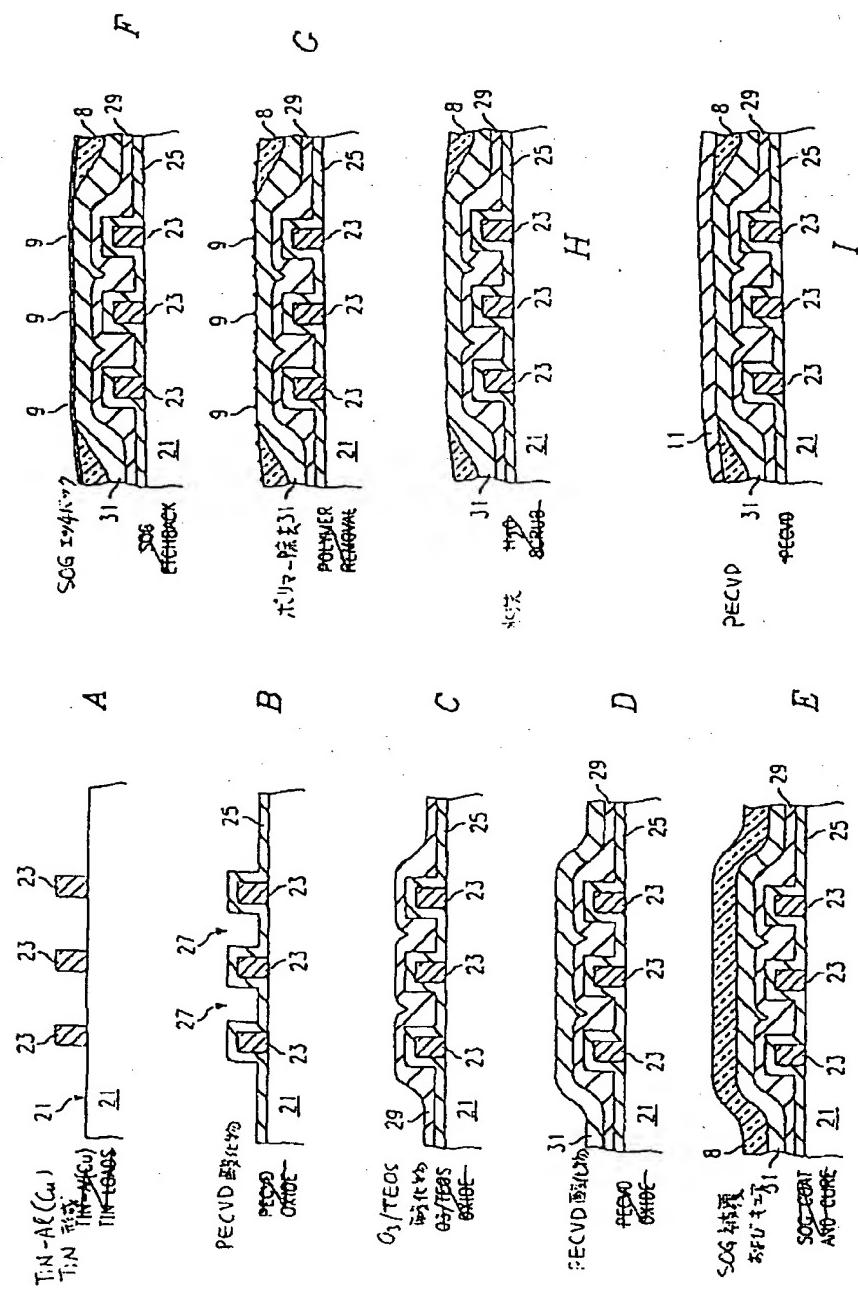
【図3】



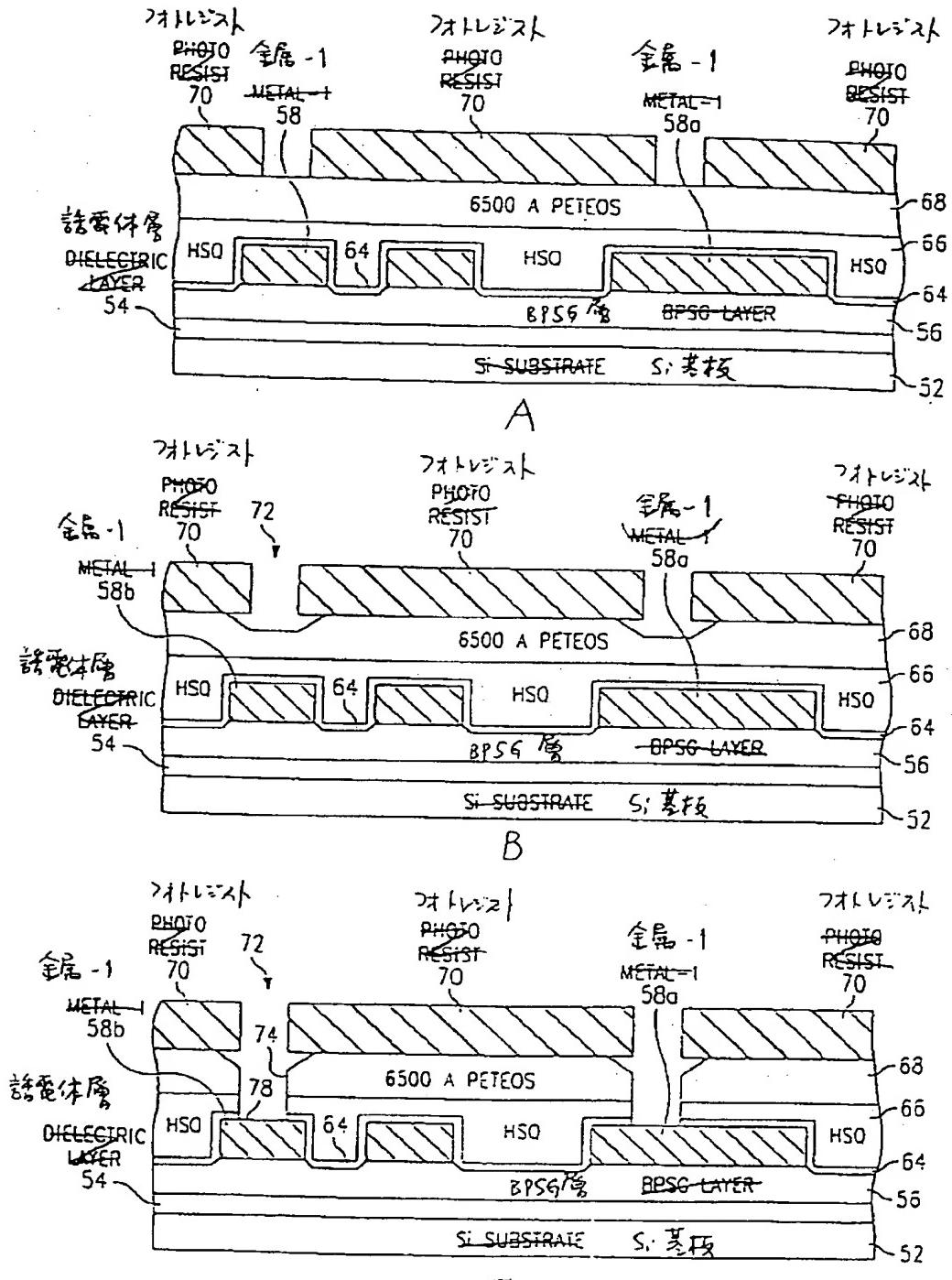
【図 1】



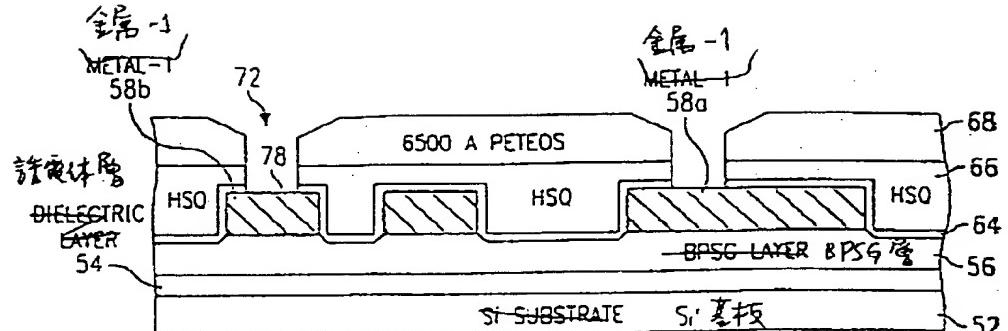
【図 2】



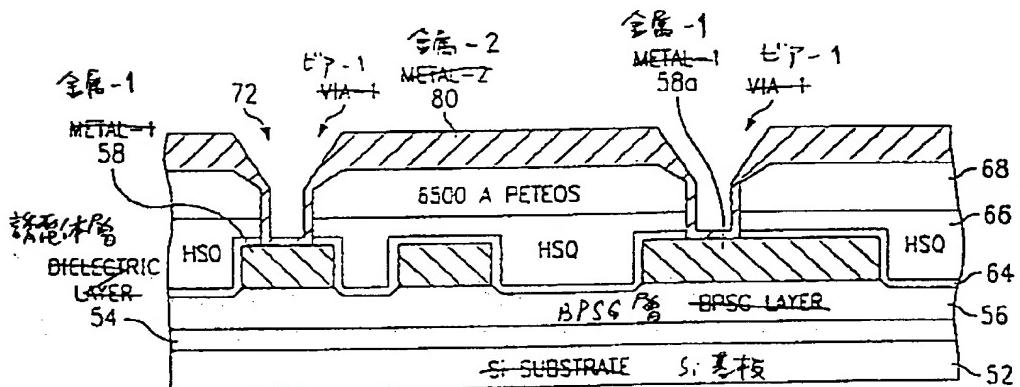
【図 4】



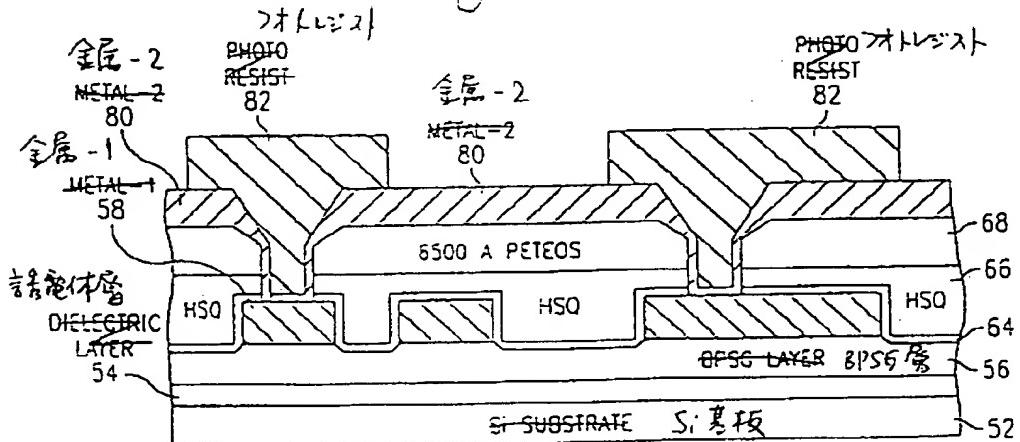
【図 5】



A

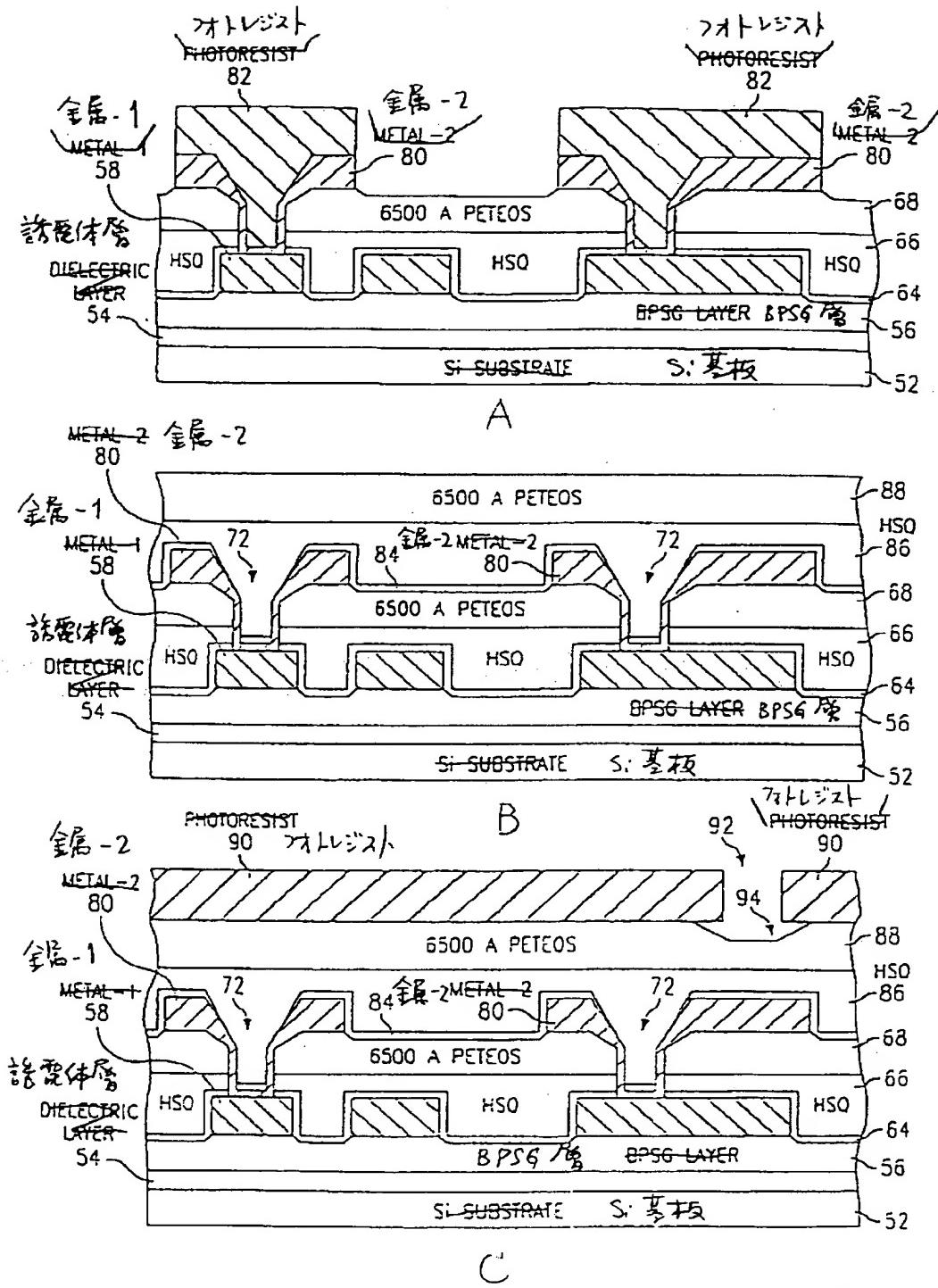


B

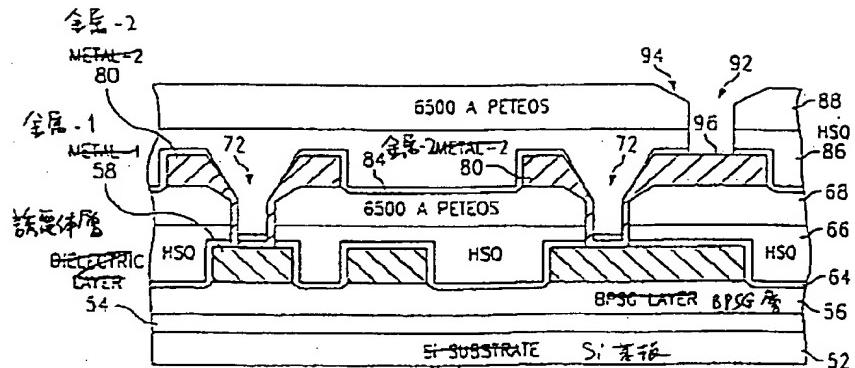


C

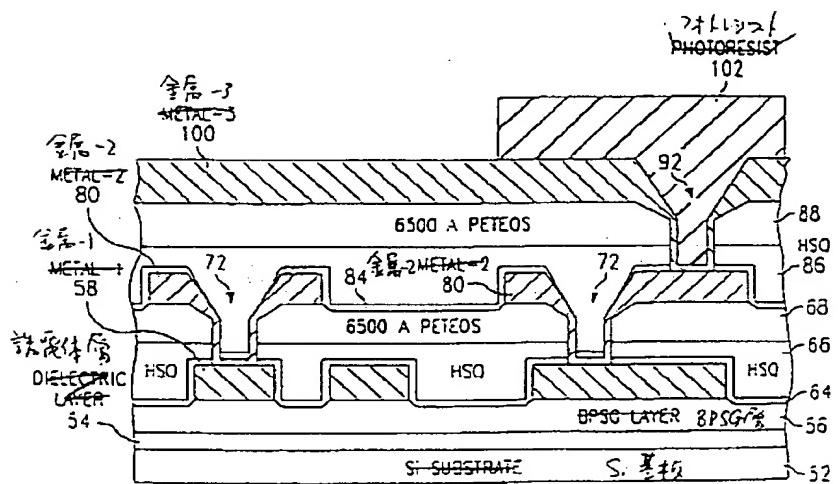
【図6】



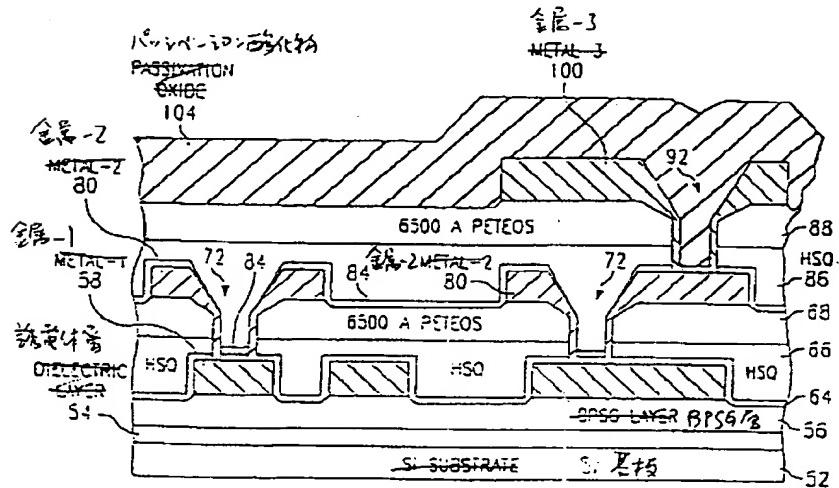
【図 7】



A

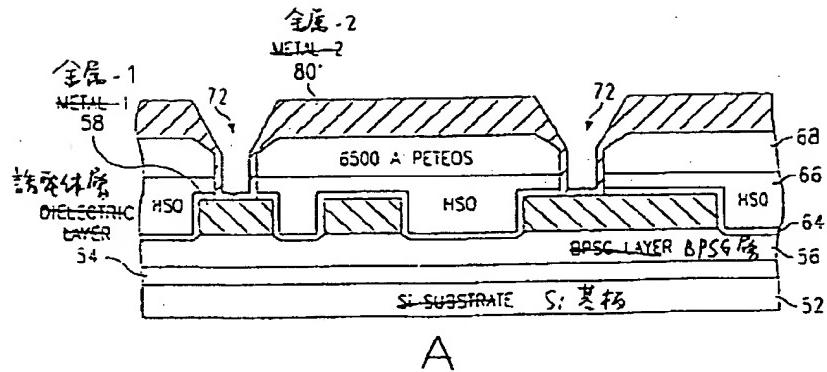


B

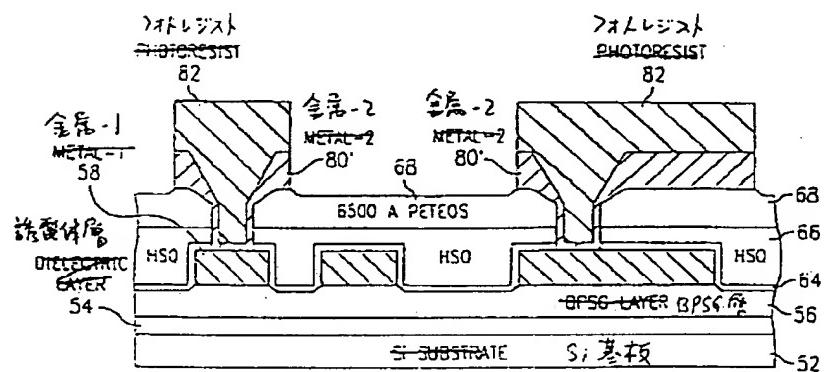


C

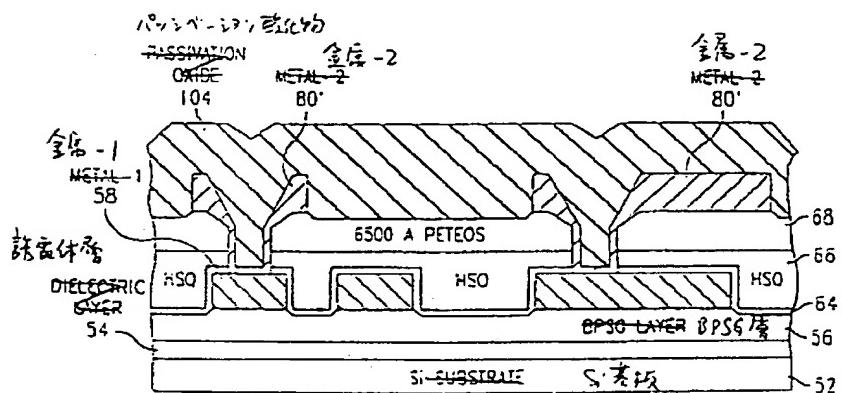
【図 8】



A

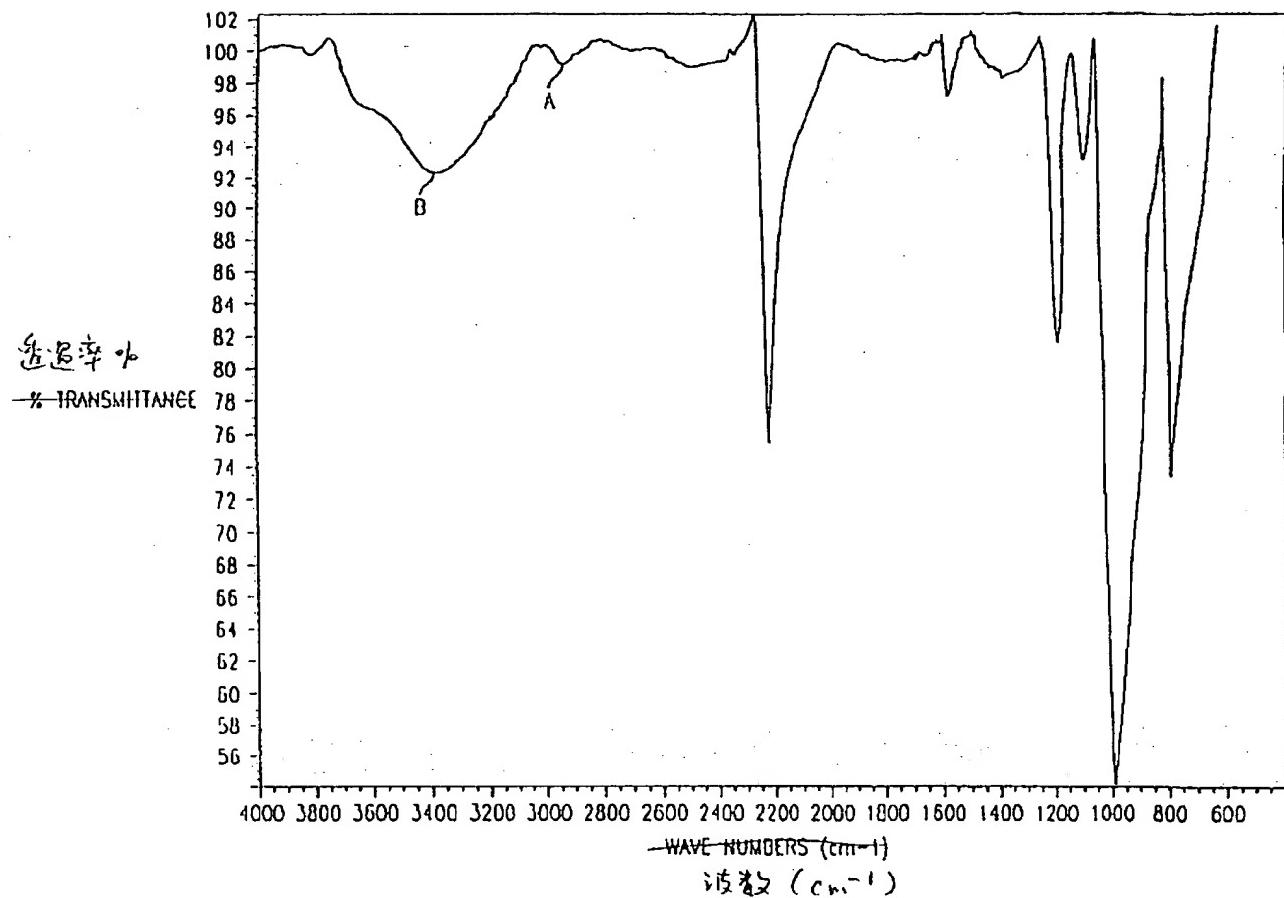


B

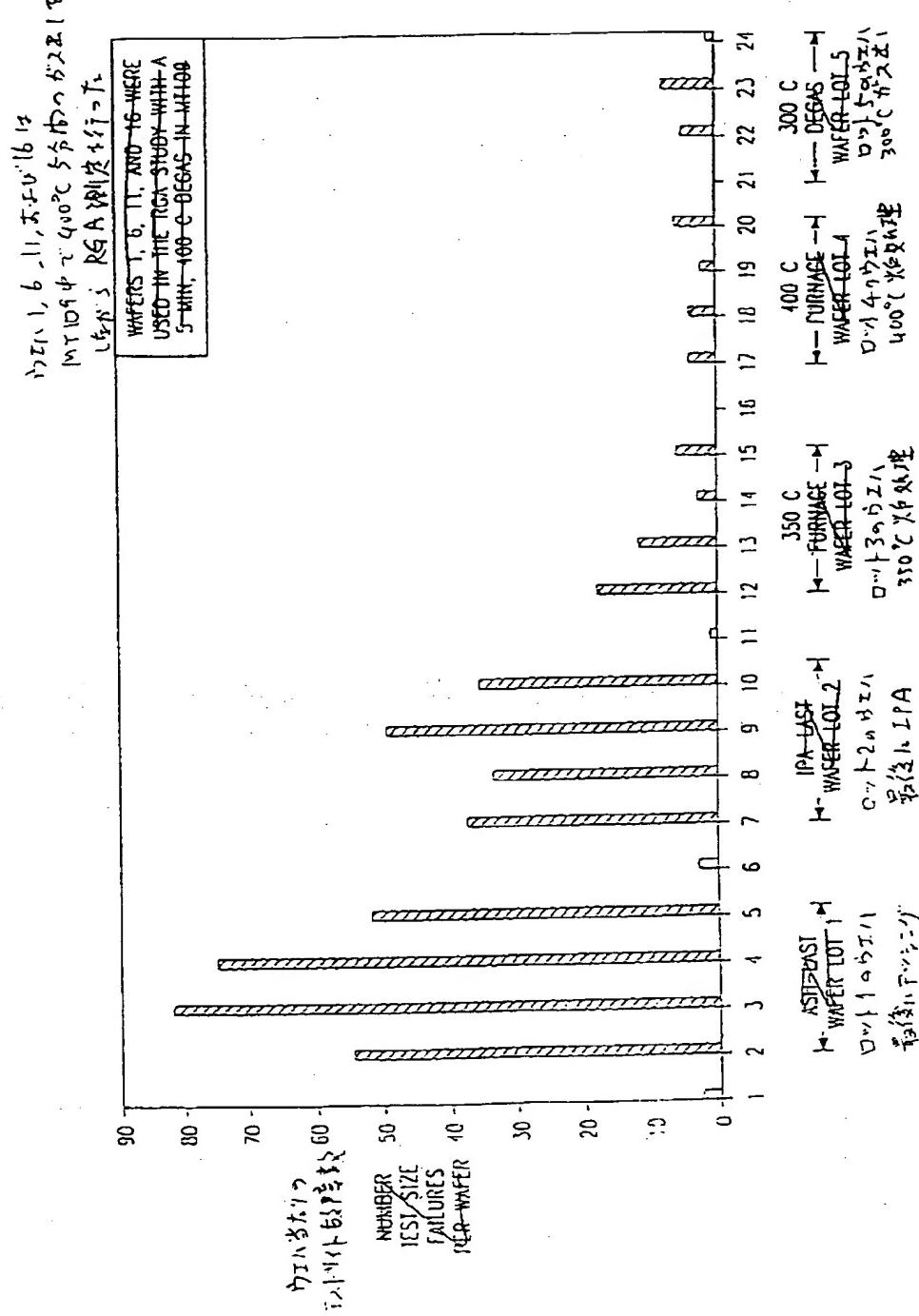


C

【図9】



【図10】



## フロントページの続き

(72) 発明者 アール ブイ. アトニップ  
アメリカ合衆国テキサス州ブラン, セイル  
メイカー レーン 3701

(72) 発明者 パベル クロカック  
アメリカ合衆国テキサス州ガーランド、ウ  
オルサム コート 5212